

研究室だより

多体ハドロン系理論研究グループ

日本原子力研究所
先端基礎研究センター
千葉 敏

sachiba@popsvr.tokai.jaeri.go.jp

1. はじめに

私たちは原研の先端基礎研究センターに所属していますが、当センターでは当初からの運営方針により、各グループは5年で終了し、一人のリーダーは最長でも2期（すなわち10年まで）、また2期目は1期目のテーマの単純な延長ではダメで、5年ごとに斬新なテーマ設定をすること、とされています。現在のグループは、私がリーダーとしての2期目で、基礎センターが出来てからの原子核理論分野のグループとしては3期目にあたります。元々、岩本昭氏をリーダーとした「ハドロン輸送研究グループ」（平成5年度～9年度）が出発点として有り、その後私が引き継いで「極限ハドロン科学研究グループ」（平成10年度～14年度）と続き、現在のグループは平成15年4月から始まりました。しかし、ご存じのように原研は今年10月から新法人「日本原子力研究開発機構」に改組されますので、現在のグループもそれまでの命です。すなわち、当グループはスタートしてわずか2年半で消滅する運命です。

現在、スタートしてから2年しか経っていないグループですので、研究もようやく軌道に乗ったかどうか、という所で、成果も全然無いというわけではないものの、まとまった形でご紹介できるものはありません。従いまして、この原稿も簡単にグループの現状などを紹介するにとどめさせていただきます。

2. 研究内容

上に書いたような事情で、当グループはスタートしてからまだ2年余しか経っていません。また、5年ごとに新しいテーマにしなければいけないというのも、アイデアが有り余って仕方がない人なら別でしょうがなかなか厳しいものがあり、当グループのテーマも無い知恵を振り絞って捻くりだした側面があります。グループ名も、安岡センター長からいただいた名前をそのまま使っています。

まず、メンバーですが、常勤職員として私の他に丸山敏毅副主任研究員と小浦寛之研究員の合計 3 名がいます。この他、今年度は特別研究生として 2 名が在籍しています。グループ全体のテーマとしては、天体における元素合成と密接に関連する原子核・ハドロン分野の理論研究を目指しています。

天体における元素合成と言ってもその意味する所は大変広範です。r-過程、と言ったとたんに数千個の原子核が関与してきますし、r-過程が起こるサイトの物理条件までを理解しようとするれば超新星爆発機構の理解が必要になり、従って星の進化、重力崩壊とバウンス、高密度核物質の性質、ニュートリノ輸送等が関与してきます。当然、その全てを私たちだけでカバーすることは出来ませんので、私たちは、r-過程元素合成ネットワークに直接関連する原子核現象に絞っています。これだけでも十分大変なテーマです。

まず、r-過程に関与する数千個の核種について、独自のネットワーク計算を可能にするために、原子核質量、崩壊率、反応率の研究を行っています。これは核データに大変近い内容で、小浦氏の原子核質量模型 (KTUY04) をベースにして、早稲田グループとの協力により α 崩壊、 β 崩壊、自発核分裂、 β 遅延自発核分裂等の崩壊率の整備を進めています。また、KTUY04 の結果を用いて中性子捕獲率の計算を行っています。これにはシグマ委員会の天体核データ WG の協力も仰いでいます。これらの基礎となる模型については、最近論文 (H. Koura et al., PTP **113**, pp305-325(2005)) が出版されましたので詳しいことはそちらを見て頂くことにしますが、ここでは概要を説明します。

小浦模型 (KTUY04) は、いわゆる微視的-巨視的模型のひとつで、原子核質量の大局的性質を陽子数、中性子数、質量数の滑らかな関数として表し、残りの量子補正である殻エネルギーをある程度微視的な立場から求めます。

この模型では変形核の殻エネルギーの求め方に特徴があります。まず、球形核の単一粒子準位の実験値を良く再現するような平均場ポテンシャルを導入します。このポテンシャルは Woods-Saxon 型に表面付近の改良を施したもので、単一粒子波動関数が表面付近にとどまる傾向を考慮しています。これを ${}^4\text{He}$ から ${}^{208}\text{Pb}$ までの 15 個の魔法数核種に対して与えます。次に変形によるエネルギー変化分について、変形を半径の異なる球形配位の重ね合わせと見なしてエネルギー最小となる形状を求めます。このような方法で計算した質量値は実験値を標準偏差約 0.65MeV の精度で再現しています。同時に中性子と陽子分離エネルギー、 α 崩壊の Q 値なども標準偏差約 0.30~0.55MeV で他の質量模型と比べても最も良く測定値を再現することができます。ただし変形度については他の理論と比べて精度は低く、今後の改良が必要です。

小浦模型では、陽子ドリップラインから中性子ドリップラインに至る全ての原子核が扱われていますから、全ての核種について例えば WKB 法で α 崩壊、大局的理論で β 崩壊の半減期を求めることができます。また殻エネルギーや対エネルギーは、原子核の準位密度を推定する際に使用することができますし、変形空間でのポテンシャルエネルギー表面が求まりますから、核分裂障壁や、核分裂における透過係数を求めることもできます。従って測定値の無い原子核の核分裂断面積や中性子捕獲断面積などの理論計算をす

る際の拠り所として威力を発揮します。この方面では私が LANL の河野氏、核データセンターの岩本修氏などと協力して研究を進めています。これと平行して光学ポテンシャルの高度化やチャンネル結合計算手法の開発、軽い原子核の反応などについての研究を行っています。

一方、 r -過程が起こるサイトの物理条件を規定するハドロン現象として、丸山敏毅氏を中心として京大の巽敏隆先生と共同で超新星物質や中性子星物質の性質の研究を行っています。主な内容は、飽和密度以下の核物質と K -中間子の現れる高密度ハドロン物質の非一様構造に対するクーロン相互作用の効果です。密度汎関数法と相対論的平均場理論に基づいて自己無撞着な計算を行って無限に広がった核物質の構造を計算しています。飽和密度以下で、いわゆる原子核 pasta と呼ばれるエキゾチックな構造が現れることが知られていますが、我々はクーロン相互作用を正確に取り入れることで陽子と電子の分布が変化し、pasta 相が現れる密度領域が広がる事を見いだしました。以前、QMD を使って計算した際に遮蔽クーロン相互作用を使っていたのが気持ち悪かったのですが、今回の計算ではフルにクーロン力を考慮することができて積年の課題が解決しました。この結果は最近 *Physical Review C* にアクセプトされました。

特研究生は、一人が MD を使ったクォーク物質の相転移、もう一人が非平衡統計力学的手法による集団運動の研究を精力的に行っています。クォーク物質の研究成果は *Physical Review C* に投稿されレフェリーからの返事待ちの状態です。

3. 終わりに

私たちの研究テーマを一言で言えば原子核・ハドロン理論ですが、私が同時に強く希望していることは“先端的な原子核・ハドロン理論研究の成果を核データなどの応用分野に迅速かつ効果的に適用して独自の立場からその高度化に貢献したい”という事です。例えば、ハドロン輸送研究グループと極限ハドロン科学研究グループの成果は、JQMD、PHITS、JAM として、長年 NMTC の牙城であった 20MeV 以上の粒子輸送計算や核データ計算における新しく、有効な手法として認識されてきました。また、小浦模型の核データ計算への適用も非常に有効であることは確実です。このために、核データ分野の出身者と純粋な原子核・ハドロン理論の専門家が同じ研究室に所属して互いに協力しながら研究を進める今の形態は原研におけるあり方としてはそれなりの意義があると思っています。

急がば回れ、という諺がありますが、原子核理論はまさに核データを支える基礎であり、双方が協力しあうことで得られるメリットは計り知れません。私たちのようなスタイルの研究にもご理解とご協力をいただければ幸いです。

10 月にスタートする新法人では、私たちは池添リーダーのテーマ“極限重原子核の殻構造と反応特性の解明”に組み込まれて研究をしていく予定です。

最後になりますが、当グループの活動に協力していただいている研究嘱託の先生方にこの場を借りてお礼申し上げます。